

# PRAKTICKÉ VYUŽITÍ PETRIHO SÍTÍ

**Jiří Barilla**



**Ústí nad Labem 2021**

- Předmět:** Praktické využití Petriho sítí
- Studijní program:** Aplikovaná informatika
- Klíčová slova:** Petriho sítě, simulace, matematický model, PT Petriho sítě, Spojité Petriho sítě, Hybridní Petriho sítě, Stochastické Petriho sítě, Barvené Petriho sítě, místa, přechody, hrany, inhibitory, testovací hrany.
- Anotace:** V tomto kurzu se studenti seznámí s praktickým využitím Petriho sítí pro simulaci reálných procesů v technické praxi a v aplikovaných vědách. V úvodním semináři jsou položeny teoretické základy Petriho sítí, v dalších seminářích jsou představeny jednotlivá rozšíření Petriho sítí s praktickými ukázkami jejich využití. Ke konci je řešeno komplexnější zadání s reálnými daty. Nakonec studenti prezentují vlastní řešení zadaného problému pomocí Petriho sítí.

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

© Katedra informatiky PřF UJEP v Ústí nad Labem, 2021  
Autor: doc. Ing. Mgr. Jiří Barilla, CSc.









## OBSAH

Úvodní slovo .....	4
1 Úvod do Petriho sítí, základní matematické pojmy .....	5
2 PT Petriho síť .....	8
3 Spojité Petriho síť .....	11
4 Hybridní Petriho síť .....	14
5 Stochastické Petriho síť .....	17
6 Barvené Petriho síť .....	20
7 Simulace reálných procesů pomocí Petriho sítí .....	23

## ÚVODNÍ SLOVO

Studijní opora *Praktické využití Petriho sítí* vznikla jako učební materiál pro studenty katedry informatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Jana Evangelisty Purkyně. Je určena studentům předmětu *Praktické využití Petriho sítí* s cílem porozumět základním teoretickým pojmům v oblasti Petriho sítí a dokázat je využít v praxi. Absolvent by po úspěšném zakončení kurzu měl být schopen využít získané znalosti pro využití Petriho sítí pro simulaci reálných procesů v různých odvětvích technické praxe.

### Vysvětlivky k používaným symbolům

	<b>Cíle kapitoly</b>
	<b>Klíčová slova</b> nebo <b>Slovníček pojmů</b>
	<b>Kontrolní otázky a úkoly</b> prověřují, do jaké míry studující text a problematiku pochopil, zapamatoval si podstatné a důležité informace a zda je dokáže aplikovat při řešení problémů
	<b>Úkoly k textu</b> je potřeba je splnit neprodleně, neboť pomáhají k dobrému zvládnutí následující látky.
	<b>Otázky k zamyšlení</b>
	<b>Místo pro vaše poznámky</b>
	<b>Odkazy na literaturu</b> a další zdroje
	<b>Shrnutí opory</b>

# 1 ÚVOD DO PETRIHO SÍTÍ, ZÁKLADNÍ MATEMATICKÉ POJMY

## ANOTACE

V této kapitole se seznámíte s Petriho sítěmi. Tato teorie tvoří základ pro pochopení významu Petriho sítí a na jakém matematickém základě jsou Petriho sítě vytvořeny.



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly lépe porozumíte principům Petriho sítí a jejich matematickému základu..



### KLÍČOVÁ SLOVA

Petriho sítě, místa, přechody, hrany, podmínky, realizace přechodu, inhibitory, simulace.

Petriho sítě umožňují jednoduchým způsobem vytvářet složité simulační modely. K návrhu simulačního modelu slouží grafický nástroj, který umožňuje jednoduše zadávat jednotlivé prvky Petriho sítí (místa, přechody, hrany atd.). Tyto prvky jsou spojeny tak, aby Petriho síť simulovala daný reálný proces. Petriho sítě umožňují simulovat jak statické, tak i dynamické procesy.

Látku si prostudujte v literatuře (KOCHANÍČKOVÁ, Monika. Petriho sítě) na str. 7 – 12 a v literatuře (ČEŠKA, Milan a kol. Petriho sítě) na str. 1 - 24. Znalosti si pak můžete doplnit studiem další literatury uvedené v odkazu na literaturu. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Množina a multimnožina
- Binární relace a zobrazení
- Vektory a matice
- Základní koncepty Petriho sítí
- Definice sítě
- Definice Petriho sítě
- Struktura a dynamika Petriho sítě
- Typy Petriho sítí
- Výhody Petriho sítí

## OTÁZKY

1. Co je to multimnožina?
2. Co jsou to binární relace a jaké mají vlastnosti?
3. S čeho se skládá Petriho síť?
4. Jak jsou propojeny místa a přechody?
5. Jaké znáte typy hran?
6. Jak lze vyjádřit Petriho síť pomocí matice?

## ÚKOLY

1. Uvedte alespoň tři příklady multimnožin z praxe.
2. Mějme množiny  $A = \{a, b, c, d\}$ ,  $B = \{u, v, w\}$ . Vytvořte kartézský součin mezi množinami A a B a vyjádřete jej tabulkou a grafem.
3. Trojice (NTF), kde
 
$$P = \{p_1, p_2, p_3\}$$

$$T = \{t_1, t_2\}$$

$$F = \{(p_1, t_1), (p_2, t_1), (p_3, t_2), (t_1, p_3), (t_2, p_1), (t_2, p_2)\}$$
 Je síť. Nakreslete graf této sítě.
4. Navrhněte Petriho síť, která bude mít dvě vstupní a jedno výstupní místo tak, aby přechod byl aktivní.

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi množinou a multimnožinou?
2. Jaký typ grafu se používá u Petriho sítí?
3. Kde můžeme v praxi využít Petriho sítě?
4. Jaký typ Petriho sítí použijeme pro simulaci dynamických procesů?
5. Jaký je rozdíl mezi diskretními a spojitými Petriho sítěmi?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho sítě*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho sítě*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2005. ISBN 35-402-2480-7.

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

## 2 PT PETRIHO SÍŤ

### ANOTACE

V této kapitole se seznámíte s PT Petriho sítěmi, které slouží k simulaci diskrétních procesů. Skládají se z míst, přechodů a hran. Místa mohou obsahovat libovolný počet tokenů a lze je omezit kapacitou. Hran mají své váhy a dělíme je na normální hrany, inhibitory a testovací hrany.



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět vytvářet PT Petriho síť pro simulaci diskrétních reálných procesů tak, že efektivně využijete různé typy hran, kapacity míst a přechody..



### KLÍČOVÁ SLOVA

PT Petriho síť, místa, přechody, hrany, inhibitory, testovací hrany, aktivní přechod.

PT Petriho síť umožňuje vytvářet simulační model pomocí míst (kružnice), přechodů (obdélník) a hran (šipka). Místa jsou spojena s přechody a přechody s místy. Nikdy nesmí být spojena dvě místa nebo dva přechody. Logickým propojení míst a přechodů pomocí hran vytvoříme simulační model, který simuluje konkrétní reálný proces.

Látku si prostudujte v literatuře (KOCHANÍČKOVÁ, Monika. Petriho síť) na str. 14 – 54 a v literatuře (ČEŠKA, Milan a kol. Petriho síť) na str. 93 - 147. Znalosti si pak můžete doplnit studiem další literatury uvedené v odkazu na literaturu. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Definice PT Petriho sítě
- Stavový prostor a přechodová funkce Petriho sítě
- Sktruktura PT Petriho sítí
- Dynamika PT Petriho sítí
- Vlastnosti a stavová analýza
- Strukturní analýza PT Petriho sítí

## OTÁZKY

1. Co je to PT Petriho síť?
2. Z jakých prvků se skládá PT Petriho síť?
3. Co je to kapacita místa?
4. Co jsou to inhibitory?
5. Co jsou to testovací hrany?
6. Co jsou to váhy hran a k čemu se využívají?
7. Co musí být splněno, aby přechod byl aktivní?

## ÚKOLY

1. Vytvořte PT Petriho síť, která bude simulovat výrobu výrobku C, tak že na jeden kus výrobku C budeme potřebovat 2 kusy polotovaru A a 3 kusy polotovaru B.
2. PT Petriho síť z úkolu č. 1 reprezentujte pomocí tabulky.
3. Vytvořte PT Petriho síť, která bude simulovat vámi vybraný praktický problém. Síť musí mít alespoň 5 míst a 4 přechody.
4. Vámi navrženou PT Petriho síť reprezentujte tabulkou.

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi PT Petriho sítí a C/E Petriho sítí?
2. Jaký je rozdíl mezi ohodnocení míst v PT Petriho sítí a C/E Petriho sítí?
3. K čemu se využívá maticová reprezentace Petriho sítě?
4. Lze použít PT Petriho síť pro simulaci dynamických systémů?
5. Jaký je rozdíl mezi inhibitem a testovací hranou?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho síť*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho síť*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2005. ISBN 35-402-2480-7.

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

### 3 SPOJITÉ PETRIHO SÍŤ

#### ANOTACE

V této kapitole se seznámíte se Spojitými Petriho sítěmi, které se využívají pro simulaci spojitých (kontinuálních) dynamických procesů. Na rozdíl od PT Petriho sítí se pro ohodnocení míst využívají reálná čísla. Přechody určují rychlost změny hodnoty míst, které jsou s nimi spojené. Pro tyto přechody lze použít buď konstantní rychlost, nebo rychlost zadanou pomocí funkce.



#### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět navrhovat spojitě dynamické simulační modely pomocí Spojitých Petriho sítí. Tyto modely se často vyskytují v praxi a umožňují popsat časový vývoj spojitého reálného procesu.



#### KLÍČOVÁ SLOVA

Spojité Petriho síť, spojitě místo, spojitý přechod, přechodová funkce, simulační graf.

Spojité Petriho sítě umožňují vytvářet modely, které simulují spojitě dynamické procesy. Stejně jako PT Petriho síť se i Spojitá Petriho síť skládá z míst, přechodů a hran, které spojují místa s přechody. Na rozdíl od PT Petriho sítě jsou místa ohodnocena reálným číslem. Rychlost změny místa udává přechod, se kterým je místo spojeno. Tato rychlost může být konstantní, nebo vyjádřena funkcí.

Látku si prostudujte v literatuře (DAVID, René a Hassane ALLA. Discrete, continuous and hybrid Petri nets) na str. 111 – 216. Rozšířit své znalosti si můžete v literatuře (BARILLA, Jiří a kol. Using Petri Nets to Model The Chemical Stages of the Radiobiological Mechanism) na str. 63 - 93. Znalosti si pak můžete doplnit studiem další literatury uvedené v odkazu na literaturu. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Definice Spojité Petriho sítě (SPS)
- Grafická reprezentace SPS
- Místa, přechody a hrany u SPS
- Ohodnocení místa u SPS
- Určení rychlosti změny místa pomocí přechodu
- Nástroje pro vytváření SPS

## OTÁZKY

1. Co je to Spojitá Petriho síť?
2. Jak jsou ohodnocena místa v SPS?
3. Jak dosáhneme, aby změna hodnoty místa probíhala určitou rychlostí?
4. Pro jaké systémy je vhodné použít SPS?
5. Jaké nástroje pro vytváření SPS znáte?

## ÚKOLY

1. Sestrojte Spojitou Petriho síť, která bude simulovat přečerpání vody z nádrže A do nádrže B pomocí čerpadla. Čerpadlo bude přečerpávat vodu konstantní rychlostí. Objem nádrže a rychlost čerpadla si zvolte sami.
2. Pomocí vytvořeného simulačního modelu vytvořte grafy znázorňující časovou změnu objemu vody v obou nádržích.
3. Vytvořte pomocí Spojité Petriho sítě simulační model vámi vybrané praktické úlohy tak, aby model obsahoval alespoň 5 míst a 4 přechody.
4. K vámi navrženému modelu vytvořte grafy znázorňující důležité dynamické procesy.

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi PT Petriho sítěmi a Spojitými Petriho sítěmi?
2. Jaký je rozdíl při ohodnocení hran u výše uvedených Petriho sítí?
3. Je možné využít u Spojité Petriho sítě rychlost změny, která není konstantní?
4. Je možné u Spojitých Petriho sítí využít váhy hran?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho sítě*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho sítě*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 3-540-22480-7. Dostupné z:

<http://staff.ustc.edu.cn/~wangl/download/HPNets.pdf>

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

BARILLA, Jiří., LOKAJÍČEK, Miloš, PISAKOVÁ, Hana a SIMR, Pavel. *Using Petri Nets to Model The Chemical Stages of the Radiobiological Mechanism*. New York: Nova Science Publishers, 2017. ISBN 978-1-53612-896-3.

## 4 HYBRIDNÍ PETRIHO SÍŤ

### ANOTACE

V této kapitole se seznámíte s Hybridními Petriho sítěmi, které umožňují řešit diskrétní i spojité procesy. Lze je využít pro simulaci spojitých dynamických systémů, které obsahují i diskrétní procesy. Využívají místa, která jsou ohodnocena celým číslem i místa ohodnocena reálným číslem.



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět navrhnout Petriho síť, která umožní simulaci spojitého dynamického systému, který obsahuje i diskrétní procesy.



### KLÍČOVÁ SLOVA

Hybridní Petriho síť, dynamický systém, diskrétní systém. Spojitý přechod, diskrétní přechod.

Hybridní Petriho sítě umožňují simulovat složité systémy, které v sobě zahrnují jak spojité, tak i diskrétní systémy. Obsahují v sobě čas, takže umožňují simulaci dynamických procesů. Obsahují místa pro celočíselné hodnoty a místa pro reálné hodnoty. Časovou změnu hodnoty daného místa lze zadat přechodovou funkcí. Přechodovou funkci zadáváme pro každý přechod.

Látku si prostudujte v literatuře (DAVID, René a Hassane ALLA. Discrete, continuous and hybrid Petri nets) na str. 122 – 142. Znalosti si pak můžete doplnit studiem další literatury uvedené v odkazu na literaturu. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Definice Hybridní Petriho sítě
- Struktura Hybridní Petriho sítě (HPS)
- Místa, přechody a hrany v HPS
- Přechodová funkce pro diskrétní přechod
- Přechodová funkce pro spojitý přechod
- Praktické využití HPS

## OTÁZKY

1. Co jsou to Hybridní Petriho sítě (HPS)?
2. Jaké typy míst využívají HPS?
3. Jaké typy přechodů využívají HPS?
4. Jaké typy hran využívají HPS?
5. Pro jaké praktické úlohy jsou HPS vhodné?

## ÚKOLY

1. Sestrojte HPS, která bude využívat dva spojitě a dva diskrétní přechody. Rychlost změny bude konstantní.
2. Dynamickou změnu míst vyjádřete graficky.
3. Vytvořte praktickou úlohu, která bude obsahovat alespoň 3 spojitě a 2 diskrétní přechody.
4. K praktické úloze vytvořte grafy, které ukáží dynamickou změnu míst.

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi PT Petriho sítěmi, Spojitými Petriho sítěmi a Hybridními Petriho sítěmi?
2. Obsahují Hybridní Petriho sítě inhibitory?
3. Obsahují Hybridní Petriho sítě testovací hrany?
4. Pro jaké typy úloh jsou Hybridní Petriho sítě vhodné?
5. Jaké typy přechodových funkcí obsahují Hybridní Petriho sítě?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho síť*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho síť*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 3-540-22480-7. Dostupné z:

<http://staff.ustc.edu.cn/~wangl/download/HPNets.pdf>

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

BARILLA, Jiří., LOKAJÍČEK, Miloš, PISAKOVÁ, Hana a SIMR, Pavel. *Using Petri Nets to Model The Chemical Stages of the Radiobiological Mechanism*. New York: Nova Science Publishers, 2017. ISBN 978-1-53612-896-3.

.

## 5 STOCHASTICKÉ PETRIHO SÍŤ

### ANOTACE

V této kapitole se seznámíte se Stochastickými Petriho sítěmi, které umožňují simulovat systémy, ve kterých probíhají náhodné procesy. Můžeme zjistit, s jakou pravděpodobností nastane určitý jev. Stochastické Petriho sítě se využívají zejména v teorii spolehlivosti pro zjišťování, jak je daný systém spolehlivý a všude tam, kde probíhají děje s určitou pravděpodobností.



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět vytvářet Stochastické Petriho sítě pro simulaci náhodných procesů. Na praktických příkladech své znalosti pak dále zdokonalíte..



### KLÍČOVÁ SLOVA

Stochastické Petriho sítě, stochastické procesy, pravděpodobnost, spolehlivost systémů, náhodné jevy.

Stochastické Petriho sítě se skládají z míst, přechodů a hran. Pro realizaci přechodů platí stejná pravidla jako u PT Petriho sítí. Navíc je možné zajistit, aby některé procesy probíhaly s určitou pravděpodobností. Jejich využití je zejména v teorii spolehlivosti, při testování systémů apod.

Látku si prostudujte v literatuře (DAVID, René a Hassane ALLA. Discrete, continuous and hybrid Petri nets) na str. 93 – 108. Znalosti si pak můžete doplnit studiem další literatury uvedené v odkazu na literaturu. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Definice Stochastické Petriho sítě (SPS)
- Struktura SPS
- Místa, přechody a hrany SPS
- Pravděpodobnost realizace přechodů v SPS
- Simulace spolehlivosti systému

## OTÁZKY

1. Jaké vlastnosti má Stochastická Petriho síť?
2. Pro jaké systémy je SPS vhodná?
3. Jaká je struktura SPS?
4. Jak jsou v SPS ohodnoceny místa, přechody a hrany?
5. Jak lze využít SPS pro simulaci spolehlivosti systémů?
6. Jaké systémy pro návrh SPS znáte?

## ÚKOLY

1. Navrhněte Stochastickou Petriho síť, která využije pravděpodobnostní jevy a bude obsahovat alespoň 3 místa a 2 přechody.
2. Důležité změny v navrženém simulačním modelu znázorněte graficky.
3. Navrhněte Stochastickou Petriho síť, která umožní analýzu spolehlivosti nějakého praktického systému.
4. Důležité závislosti v simulačním modelu vyjádřete graficky.

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi Stochastickými Petriho sítěmi a deterministickými Petriho sítěmi?
2. Mohou SPS využívat inhibitory?
3. Jaké typy hran a přechodů lze použít v SPS?
4. Jak budeme simulovat spolehlivost určitého zařízení pomocí SPS?
5. Jsou SPS diskrétní nebo spojité?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho sítě*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho sítě*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 3-540-22480-7. Dostupné z:

<http://staff.ustc.edu.cn/~wangl/download/HPNets.pdf>

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

BARILLA, Jiří., LOKAJÍČEK, Miloš, PISAKOVÁ, Hana a SIMR, Pavel. *Using Petri Nets to Model The Chemical Stages of the Radiobiological Mechanism*. New York: Nova Science Publishers, 2017. ISBN 978-1-53612-896-3.

## 6 BARVENÉ PETRIHO SÍŤ

### ANOTACE

V této kapitole se seznámíte s Barvenými Petriho sítěmi, které patří mezi vysokoúrovňové Petriho sítě a umožňují používat různé typy tokenů a složitější podmínky na přechody a hrany.



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět vytvářet Barvené Petriho sítě, které umožňují vytvářet složité simulační modely s využitím různých typů tokenů, proměnných, funkcí a komplikovaných podmínek pro přechody a hrany..



### KLÍČOVÁ SLOVA

Barvené množiny, strážce, deklarace proměnných, produkty, konstanty, hranové podmínky, datové typy.

Barvené Petriho sítě (Coloured Petri Nets) využívají různé typy tokenů, které jsou rozlišeny barvami. Pro zpracování tokenů různých barev jsou Petriho sítě rozšířeny o proměnné, deklarace typů, inskripční výrazy hran či strážce a akce přechodů. Přechody mohou být ohodnoceny podmínkami, které musí být splněny pro jeho provedení.

Látku si prostudujte v literatuře (ČEŠKA, Milan a kol. Petriho sítě) na str. 199 – 230. Znalosti si pak můžete doplnit studiem další literatury uvedené v odkazu na literaturu. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Motivace Barvených Petriho sítí
- Definice Barvené Petriho sítě
- Zavedení barev do Petriho sítí
- Formální definice syntaxe CPN
- Formální definice sémantiky CPN
- Deklarace proměnných a konstant
- Zadání funkcí v CPN
- Podmínky a strážce

## OTÁZKY

1. Čím jsou charakteristické Barvené Petriho sítě?
2. Jakým způsobem využíváme barvy v CPN?
3. Jak deklarujeme proměnné a konstanty?
4. Jak zadáváme místa, přechody a hrany?
5. Jaké podmínky můžeme využívat v CPN?
6. Jak využíváme funkce v CPN?
7. Co jsou to stáže?

## ÚKOLY

1. Vytvořte Barvenou Petriho síť, která bude mít alespoň 4 místa a 3 přechody. Tokeny budou datového typu UNIT a na hrany použijte váhy.
2. Vytvořte Barvenou Petriho síť, která bude mít alespoň 5 míst a 4 přechody a tokeny budou datového typu INT.
3. Vytvořte Barvenou Petriho síť, která bude mít alespoň 5 míst a 4 přechody a tokeny budou datového typu REAL.
4. Vytvořte Barvenou Petriho síť, která bude řešit nějaký praktický problém

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi Barvenou Petriho sítí a PT Petriho sítí?
2. Mohou být v jednom místě u CPN použity tokeny různých datových typů?
3. Jaký význam mají barvy v CPN?
4. Jaký je rozdíl mezi deklarací proměnných a konstant?
5. Lze v CPN využívat čas?
6. Lze v CPN využívat podmínky na hrany?
7. K čemu slouží funkce v CPN?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho sítě*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho sítě*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 3-540-22480-7. Dostupné z:

<http://staff.ustc.edu.cn/~wangl/download/HPNets.pdf>

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

BARILLA, Jiří., LOKAJÍČEK, Miloš, PISAKOVÁ, Hana a SIMR, Pavel. *Using Petri Nets to Model The Chemical Stages of the Radiobiological Mechanism*. New York: Nova Science Publishers, 2017. ISBN 978-1-53612-896-3.

## 7 SIMULACE REÁLNÝCH PROCESŮ POMOCÍ PETRIHO SÍTÍ

### ANOTACE

V této kapitole se seznámíte s využitím Petriho sítí pro simulaci reálných procesů.. Petriho sítě lze využít pro simulaci statických i dynamických systémů, které mají deterministický nebo stochastický charakter a mohou být jak diskrétní, tak i spojité.



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět využít Petriho sítě pro řešení různých typů praktických úloh. Získané znalosti vám umožní pro danou praktickou úlohu vybrat správný typ Petriho sítě.



### KLÍČOVÁ SLOVA

Simulace, reálné procesy, praktické úlohy, analýza problému, návrh řešení, parametry modelu, grafická reprezentace.

Pro simulaci reálných procesů lze využít různé programovací prostředky. Výhodou Petriho sítí je snadné vytvoření simulačního modelu pomocí grafického nástroje a dále snadná analýza získaných výsledků. Lze využít jak klasické, tak i vysokoúrovňové Petriho sítě, které umožňují řešit rozsáhlé praktické problémy. .

Látku si prostudujte v literatuře uvedené v odkazu na literaturu. V uvedené literatuře najdete jak teoretické, tak i praktické kapitoly z oblasti Petriho sítí. Při studiu se zaměřte na tyto oblasti:

- Charakteristika různých typů Petriho sítí
- Analýza současného stavu
- Návrh řešení praktické úlohy
- Výběr vhodného typu Petriho sítě pro řešení konkrétní úlohy
- Vytvoření simulačního modelu
- Analýza dat simulačního modelu
- Zhodnocení dosažených výsledků

## OTÁZKY

1. Jaké jsou rozdíly mezi jednotlivými typy Petriho sítí?
2. Jaké Petriho sítě jsou vhodné pro simulaci spojitých procesů?
3. Jaké Petriho sítě jsou vhodné pro simulaci procesů s náhodnými ději?
4. Co je nutné provést před návrhem Petriho sítě pro simulaci praktického problému?
5. Co je to verifikace simulačního modelu?
6. Jak budeme prezentovat výsledky simulace pomocí Petriho sítě?

## ÚKOLY

1. Vyberte si nějaký reálný proces probíhající ve firmě nebo týkající se jiné praktické činnosti a proveďte analýzu současného stavu.
2. Na základě této analýzy navrhnete vhodný typ Petriho sítě a vytvořte simulační model.
3. Výsledky simulačního modelu prezentujte formou tabulek a grafů.
4. Porovnejte dosažené výsledky s reálnými daty a proveďte zhodnocení vašeho simulačního modelu.

## OTÁZKY K ZAMYŠLENÍ

1. Jaký je rozdíl mezi simulací reálného procesu a optimalizací parametrů modelu za účelem dosažení maxima nebo minima vybraného ekonomického ukazatele?
2. Jaké informace nám poskytuje simulační model?
3. Lze pomocí PT Petriho sítí simulovat spojitý proces?
4. Kdy je vhodné použít Barvené Petriho sítě?
5. Kdy je vhodné použít Stochastické Petriho sítě?
6. Jaké datové typy využívají Spojité Petriho sítě?
7. Jaké datové typy využívají Barvené Petriho sítě?



## MÍSTO PRO VAŠE POZNÁMKY

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## ODKAZ NA LITERATURU

VAN DER AALST, Wil. *Classical Petri nets: The basic model*. Eindhoven: University of Technology, 2018.

Dostupné z: <http://cpntools.org/wp-content/uploads/2018/01/classicalpn.pdf>

ČEŠKA, Milan, Vladimír MAREK, Petr NOVOSAD a Tomáš VOJNAR. *Petriho sítě*. Brno: FIT VUT, 2009. Dostupné z:

[http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES\\_opora.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/PES/public/Pomucky/PES_opora.pdf)

VORÁČOVÁ, Šárka, Martin PĚNIČKA a Jaroslav VESELÝ. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03979-3.

KOCHANÍČKOVÁ, Monika. *Petriho sítě*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008. Dostupné z: [http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho\\_site.pdf.renamed](http://phoenix.inf.upol.cz/esf/ucebni/petriho_site.pdf.renamed)

PETRI, Carl Adam. *Kommunikation mit Automaten*. Darmstadt, 1962. Dissertation. Technische Hochschule.

DAVID, René a Hassane ALLA. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 3-540-22480-7. Dostupné z:

<http://staff.ustc.edu.cn/~wangl/download/HPNets.pdf>

JENSEN, Kurt a Lars Michael KRISTENSEN. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, 2009. ISBN 978-3-642-00283-0.

BARILLA, Jiří., LOKAJÍČEK, Miloš, PISAKOVÁ, Hana a SIMR, Pavel. *Using Petri Nets to Model The Chemical Stages of the Radiobiological Mechanism*. New York: Nova Science Publishers, 2017. ISBN 978-1-53612-896-3.



## SHRnutí STUDIjNÍ OPORY

Učební opora věnovaná praktickému využití Petriho sítí je určena všem studentům katedry informatiky, kteří absolvují předmět *Praktické využití Petriho sítí*. V tomto předmětu se pak studenti seznámili se základními principy činnosti Petriho sítí a jejich využití pro simulaci reálných procesů. Předmět poskytuje jak teoretickou přípravu pro lepší pochopení principů Petriho sítí, tak i praktické dovednosti pro aplikaci Petriho sítí v praxi..

Předmět *Praktické využití Petriho sítí* je ukončen seminární prací s ústní obhajobou.